بسم الله الرحمن الرحیم

۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق –قدرت

بازآرایی ریزشبکه هوشمند با هدف کمینه سازی تلفات با ملاحظه عدم قطعیت بار مصرفی و انرژی تولید واحد بادی، با درنظرگرفتن قیود قابلیت اطمینان

توسط:

رضا جباری ثابت

استاد راهنما:

دکتر سید مسعود مقدس تفرشی

پاییز ۱۳۹۲

تـقـدیـم

این اثر هر چند ناچیز را به امام غائب تقدیم می‌کنم.

صالح و طالح متاع خویش نمودند تا که قبول افتد و چه در نظر آید؟

به آن امید که مقبول افتد.

دل نشان شد سخنم تا تو قبولش کردی آری آری سخن عشق نشانی دارد.

تشکر و قدردانی

در اینجا مایلم از تمام کسانی که در افزایش فهم و دانش اینجانب نقش داشته‌اند، تشکر نمایم به ویژه خانواده عزیزم که زحمات زیادی را برای رشد و تربیتم کشیده‌اند، قدردانی کنم. همچنین از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر تفرشی که این اثر با راهنمایی ایشان به وجود آمده است، سپاس‌گزاری می‌نمایم.

رضا جباری ثابت

پاییز ۱۳۹۲

چکیده

هدف از انجام این پایان‌نامه ارائه مدلی جهت بازآرایی (تجدید پیکربندی) ریزشبکه‌ها به منظور بیشینه‌سازی سود و کاهش تلفات آن می‌باشد. به این منظور ابتدا مدل ریزشبکه و عناصر آن معرفی می‌شود. ریزشبکه مورد مطالعه شامل میکروتوربین، واحد تولیدی بادی به عنوان منابع تولید انرژی، باتری به عنوان ذخیره‌ساز، بارهای عادی و بارهای حساس می‌باشد. مقدار بار مصرفی و تخمین انرژی تولیدی واحد بادی با توجه به تغییرات سرعت باد به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند. این ریزشبکه در یکی از باس‌ها به شبکه بالادست متصل شده است و با در نظر گرفتن سود خود می‌تواند به مبادله توان با شبکه بالادست بپردازد. ریزشبکه با توجه به این مبادله توان می‌تواند در بازار انرژی روز بعد حضورداشته باشد. ریزشبکه مورد مطالعه قابلیت کار به صورت جزیره‌ای و متصل به شبکه بالادست را دارا می‌باشد. در صورت از دست رفتن خط متصل به شبکه بالادست، به حالت جزیره‌ای درآمده و در صورتی که میزان مصرف از مقدار انرژی تولیدی داخلی ریزشبکه بیشتر باشد، بارها با توجه به اولویت و سود ریزشبکه قطع می‌شوند. تعیین همزمان توپولوژی بهینه و نقطه کار بهینه عناصر ریزشبکه شامل میزان تولید میکروتوربین‌ها، شارژ یا دشارژ باتری و مبادله با شبکه بالادست با استفاده از الگوریتم اجتماع ذرات انجام می‌گیرد. تابع هدف شامل درآمد منهای هزینه است. تلفات توان به صورت هزینه در تابع هدف وارد می‌شود که کاهش آن موجب کاهش هزینه‌ها می‌شود. قابلیت اطمینان به صورت هزینه در تابع هدف وارد می‌شود. در صورت قطع بار قابلیت اطمینان به صورت هزینه فرصت از دست رفته مدل می‌شود. قابلیت اطمینان لازم برای بارهای حساس در زمان رخداد خطا در خطوط، به صورت هزینه در تابع هدف وارد می‌شود. سپس با وارد کردن عدم‌قطعیت منابع تولید پراکنده بادی، بار و احتمال وقوع خطا در خطوط تلاش می‌شود تأثیر عدم‌قطعیت در یافتن بهترین توپولوژی ریزشبکه و بهترین نقطه کار شبیه‌سازی گردد. در نهایت، برنامه بیست و چهار ساعته روز بعد شامل میزان تولید میکروتوربین‌ها، شارژ یا دشارژ باتری، و توپولوژی بهینه برای هر ساعت روز بعد به دست می‌آید.

کلید واژه: بازآرایی، ریزشبکه، عدم قطعیت، منبع توان بادی، قابلیت اطمینان.

فـهـرست مـطـالـب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... و

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- ضرورت و فرضیات پایان‌نامه ۵

۱-۳- اهداف و مراحل انجام پایان‌نامه ۸

فصل ۲- مروری بر مطالعاتِ گذشته ۹

۲-۱- مطالعاتِ بازآرایی سیستم قدرت کشتی‌ها ۹

۲-۲- مطالعاتِ بازآرایی شبکه‌های توزیع در سالهای اخیر ۹

۲-۳- مطالعاتِ بازآرایی شبکه‌های توزیع فعال شامل تولیدات پراکنده ۱۰

۲-۴- بازآرایی شبکه‌های توزیع شامل ریزشبکه‌ها ۱۳

۲-۵- بازآرایی ریزشبکه‌ها ۱۵

۲-۶- جمع بندی مطالعات ۱۸

فصل ۳- ارائه مدل عناصر و ساختار مدیریتی ریزشبکه ۲۰

۳-۱- مقدمه ۲۰

۳-۲- ساختار ریزشبکه مورد مطالعه ۲۰

۳-۲-۱- تعاملات ریزشبکه با شبکه بالادست ۲۳

۳-۳- مدل بهره‌برداری اجزای ریزشبکه ۲۳

۳-۳-۱- مدل بهره‌برداری توربین بادی ۲۳

۳-۳-۱-۱- هزینه تولید توربین بادی ۲۵

۳-۳-۱-۲- مدلسازی عدم‌قطعیت بادی ۲۶

۳-۳-۲- میکروتوربین ۲۷

۳-۳-۲-۱- فناوری میکروتوربین ۲۷

۳-۳-۲-۲- مدل اقتصادی میکروتوربین ۲۷

۳-۳-۲-۳- محدودیت‌های بهره‌برداری میکروتوربین ۳۰

۳-۳-۳- مدل باتری ۳۰

۳-۳-۴- مدل بار ۳۲
۳-۳-۵- هزینه کلیدزنی ۳۳
۳-۴- قیود سیستمی ریزشبکه ۳۴
۳-۵- مدل خطا در خطوط ریزشبکه ۳۵
۳-۶- تابع هدف ۳۶
۳-۷- الگوریتم پیشنهادی ۳۹
۳-۷-۱- توضیحاتی در خصوص الگوریتم پیشنهادی ۴۰
۳-۷-۲- توسعه نرم افزاری مدل با استفاده از روش الگوریتم اجتماع پرندگان ۴۱
۳-۷-۲-۱- الگوریتم PSO ۴۲
۳-۷-۲-۲- استراتژی حل مسئله با الگوریتم اجتماع پرندگان ۴۴
مدلسازی قیود مسئله ۴۸
۳-۸- جمع‌بندی ۵۱

فصل ۴- شبیه‌سازی و تحلیل نتایج ۵۲

۴-۱- مقدمه ۵۲
۴-۲- مشخصات مربوط به ساختار ریزشبکه ۵۲
۴-۳- مشخصات عناصر تشکیل دهنده ریزشبکه ۵۳
۴-۳-۱- میکروتوربین ۵۳
۴-۳-۲- توربین بادی ۵۴
۴-۳-۳- اطلاعات سرعت باد ۵۵
۴-۳-۴- قیمت انرژی در هر ساعت ۵۷
۴-۳-۵- باتری ۵۸
۴-۳-۶- کلید ۵۸
۴-۳-۷- بارها ۵۸
۴-۳-۸- توپولوژی‌های ممکن در حالت بهره‌برداری عادی ۵۹
۴-۳-۹- پارامترهای الگوریتم اجتماع ذرات ۶۱
۴-۴- خروجی نرم افزار، بررسی و تحلیل سناریو ۶۲
۴-۴-۱- نتایج انجام همزمان بازآرایی و تخصیص اقتصادی واحدها به صورت قطعی برای یک سناریوی نمونه ۶۲
۴-۴-۲- صحه‌گذاری نرم‌افزار ۶۵
۴-۴-۳- نتایج تخصیص اقتصادی واحدها با توپولوژی ثابت به صورت قطعی برای یک سناریوی نمونه .۶۶

۴-۴-۴- نتایج تعیین همزمان نقطه کار بهینه عناصر و توپولوژی ریزشبکه در زمان وقوع خطا به صورت قطعی برای یک سناریوی نمونه..... ۶۹
۴-۴-۴-۱- وقوع خطا در خط یک، حالت جزیره‌ای شدن اجباری..... ۶۹
۴-۴-۴-۲- وقوع خطا در یکی از خطوط انتهایی..... ۷۲
۴-۴-۴-۳- وقوع خطا در یکی از خطوط حلقه‌ها..... ۷۶
۴-۴-۵- بررسی تأثیر عدم‌قطعیت در تعیین همزمان نقطه‌کار بهینه عناصر و توپولوژی بهینه ریزشبکه۷۸
۴-۴-۵-۱- تأثیر عدم‌قطعیت در میزان سود و تعیین بهینه نقطه کار تجهیزات در حالت بهره‌برداری عادی.۷۸
۴-۴-۵-۲- تأثیر عدم‌قطعیت در میزان سود ریزشبکه حالت بهره‌برداری همراه با وقوع خطا..... ۸۲
۴-۵- نتیجه‌گیری..... ۸۳

فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۸۵

۵-۱- نتیجه‌گیری..... ۸۵
۵-۲- پیشنهادات..... ۸۶

ضمیمه أ -نحوه محاسبه سرعت باد به صورت غیرقطعی..... ۸۷

فهرست مراجع..... ۸۸

واژه نامه فارسی به انگلیسی..... ۹۵

واژه نامه انگلیسی به فارسی..... ۹۷

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: دسته بندی مطالعاتِ بازآرایی ریزشبکه‌ها براساس سال..... ۱۸
جدول ۲-۲: دسته بندی مطالعاتِ بازآرایی شبکه‌های توزیع با حضور ریزشبکه‌ها براساس سال..... ۱۹
جدول ۳-۱: اولویت بار برای CERTS تغییر یافته..... ۲۳
جدول ۴-۱: ماتریس مشخصه ریزشبکه در حالت متصل به بالادست [62]..... ۵۲
جدول ۴-۲: ماتریس مشخصه ریزشبکه در حالت جزیره‌ای..... ۵۳
جدول ۴-۳: مشخصات توابع هزینه میکروتوربین‌ها [34,57]..... ۵۴
جدول ۴-۴: مشخصات هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای میکروتوربین‌ها [34,57]..... ۵۴
جدول ۴-۵: مشخصات توربین بادی [63]..... ۵۴
جدول ۴-۶: هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای توربین‌های بادی [63]..... ۵۴
جدول ۴-۷: اطلاعات سناریوی نمونه تولید شده برای سرعت باد..... ۵۵
جدول ۴-۸: میانگین و انحراف معیار سرعت باد در هر ساعت..... ۵۵
جدول ۴-۹: پارامترهای توزیع وایبول به دست آمده براساس اطلاعات سرعت باد..... ۵۶
جدول ۴-۱۰: اطلاعات سرعت باد برای سال ۲۰۱۲ در روز مورد مطالعه..... ۵۶
جدول ۴-۱۱: فاکتور قیمت ساعتی برق [63]..... ۵۷
جدول ۴-۱۲: مشخصات باتری‌های بانک باتری [64]..... ۵۸
جدول ۴-۱۳: میانگین هر نقطه بار در هر ساعت..... ۵۹
جدول ۴-۱۴: کد توپولوژی‌ها ممکن در حالت بهره‌برداری عادی (حالت۱)..... ۶۰
جدول ۴-۱۵: کد توپولوژی‌ها ممکن در حالت خطا در خط یک یا حالت جزیره‌ای (حالت۲)..... ۶۰
جدول ۴-۱۶: کد توپولوژی‌ها ممکن در حالت خطا در یکی از خطوط مربوط به حلقه‌ها (حالت۳)..... ۶۱
جدول ۴-۱۷:پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی..... ۶۱
جدول ۴-۱۸: خروجی نرم‌افزار مربوط به بهره‌برداری عادی و تعیین همزمان توپولوژی و نقطه کار بهینه عناصر..... ۶۳
جدول ۴-۱۹: تغییرات هزینه میکروتوربین ۲ به منظور آزمایش نرم‌افزار..... ۶۵
جدول ۴-۲۰: تغییرات قیمت خرید از شبکه بالادست به منظور آزمایش نرم‌افزار..... ۶۶
جدول ۴-۲۱: خروجی نرم‌افزار مربوط به بهره‌برداری عادی و نقطه کار بهینه عناصر با توپولوژی ثابت... ۶۷

جدول ۴-۲۲: خروجی نرم‌افزار مربوط به بهره‌برداری با رخداد خطا در خط یک (حالت جزیره‌ای) و تعیین همزمان توپولوژی و نقطه کار بهینه عناصر در ساعات خطا..... ۷۰
جدول ۴-۲۳: خروجی متغیر قطع بار در ساعات خطا در هنگام جزیره‌ای شدن اجباری..... ۷۱
جدول ۴-۲۴: خروجی نرم‌افزار مربوط به بهره‌برداری با رخداد خطا در خطوط انتهایی و تعیین همزمان توپولوژی و نقطه کار بهینه عناصر در ساعات خطا در حالت کم‌باری..... ۷۳
جدول ۴-۲۵: خروجی نرم‌افزار مربوط به بهره‌برداری با رخداد خطا در خطوط انتهایی و تعیین همزمان توپولوژی و نقطه کار بهینه عناصر در ساعات خطا در حالت پرباری..... ۷۵
جدول ۴-۲۶: خروجی نرم‌افزار مربوط به بهره‌برداری با رخداد خطا در خطوط جزء حلقه‌ها و تعیین همزمان توپولوژی و نقطه کار بهینه عناصر در ساعات خطا..... ۷۶
جدول ۴-۲۷: احتمال هر توپولوژی در هر ساعت به درصد..... ۷۹
جدول ۴-۲۸: پارامترهای تابع توزیع نرمال تقریب زده شده برای متغیرهای تصمیم پیوسته و کد توپولوژی با بیشترین تکرار برای هر ساعت..... ۸۰
جدول ۴-۲۹: پارامترهای تابع توزیع نرمال تقریب زده شده برای متغیرهای تصمیم پیوسته (میزان تبادل با شبکه بالادست)..... ۸۱
جدول ۴-۳۰: مقایسه قطعیت و عدم‌قطعیت اطلاعات باد در میزان سود ریزشبکه..... ۸۱
جدول ۴-۳۱: مقایسه قطعیت و عدم‌قطعیت زمان رخداد خطا در میزان سود ریزشبکه..... ۸۲
جدول ۴-۳۲: نتایج روش‌های بهره‌برداری در میزان سود ریزشبکه..... ۸۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: ریزشبکه نمونه..... ۳
شکل ۳-۱: ساختار ریزشبکه مورد مطالعه تغییریافته [5]..... ۲۱
شکل ۳-۲: ساختار ریزشبکه مورد مطالعه در حالت جزیره‌ای..... ۲۲
شکل ۳-۳: رابطه سرعت باد با توان خروجی ژنراتور بادی [52]..... ۲۴
شکل ۳-۴: نمونه برداری مونت کارلو از نمودار تابع توزیع احتمال [54]..... ۲۶
شکل ۳-۵: الگوریتم انجام همزمان بازآرایی و تخصیص اقتصادی واحدها در حالت عادی و وقوع خطا... ۴۰
شکل ۳-۶: به روز شدن سرعت و موقعیت یک ذره..... ۴۳
شکل ۳-۷: روش حل مسئله با استفاده از الگوریتم PSO..... ۵۰
شکل ۴-۱: نمودار تابع توزیع احتمال وایبول برای ساعت ۱ و ۲۴..... ۵۶
شکل ۴-۲: نمودار گرافیکی سهم تولید و یا مصرف هر یک از عناصر در هر ساعت با توپولوژی متغیر ۶۴
شکل ۴-۳: نمودار میزان سطح ذخیره شارژ باتری در هر ساعت در حالت بهره‌برداری عادی با توپولوژی متغیر..... ۶۴
شکل ۴-۴: نمودار آزمایش نرم‌افزار و کاهش تولید میکروتوربین۲ با افزایش هزینه‌های آن..... ۶۵
شکل ۴-۵: نمودار آزمایش نرم‌افزار و افزایش ساعات خرید از شبکه بالادست به علت کاهش قیمت..... ۶۶
شکل ۴-۶: نمودار گرافیکی سهم تولید و یا مصرف هر یک از عناصر در هر ساعت با توپولوژی ثابت..... ۶۸
شکل ۴-۷: نمودار میزان سطح ذخیره شارژ باتری در هر ساعت در حالت بهره‌برداری عادی با توپولوژی ثابت..... ۶۸
شکل ۴-۸: نمودار گرافیکی سهم تولید و یا مصرف هر یک از عناصر در هر ساعت با وقوع خطا در خط یک (حالت جزیره‌ای)..... ۷۱
شکل ۴-۹: نمودار میزان سطح ذخیره شارژ باتری در هر ساعت در حالت بهره‌برداری با وقوع خطا در خط یک (حالت جزیره‌ای)..... ۷۲
شکل ۴-۱۰: نمودار گرافیکی سهم تولید و یا مصرف هر یک از عناصر در هر ساعت با وقوع خطا در خطوط انتهایی در حالت کم باری..... ۷۴
شکل ۴-۱۱: نمودار میزان سطح ذخیره شارژ باتری در هر ساعت در حالت بهره‌برداری با وقوع خطا در خطوط انتهایی در حالت کم باری..... ۷۴

شکل ۴-۱۲: نمودار گرافیکی سهم تولید و یا مصرف هر یک از عناصر در هر ساعت با وقوع خطا در یکی از خطوط حلقه‌ها.....۷۷
شکل ۴-۱۳: نمودار میزان سطح ذخیره شارژ باتری در هر ساعت در حالت بهره‌برداری با وقوع خطا در یکی از خطوط حلقه‌ها.....۷۷
شکل ۴-۱۴: نمودار هیستوگرام سود ریزشبکه و تابع توزیع نرمال آن در حالت بهره‌برداری عادی.....۷۸
شکل ۴-۱۵: نمودار هیستوگرام سود ریزشبکه و تابع توزیع نرمال آن در حالت بهره‌برداری با وقوع خطا ۸۲
شکل ۴-۱۶: نمودار همگرایی ضریب واریانس سود ریزشبکه با افزایش تعداد سناریوها.....۸۳
شکل أ-۱: الگوریتم تولید سناریو برای سرعت باد.....۸۷

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

با پیشرفت فناوری و همزمان با تجدید ساختار سیستم‌های قدرت، مسائل جدیدی در این عرصه ظهور کرده که نگرش‌های تازه‌ای را به وجود آورده است. مقوله تأمین بار که برخلاف گذشته، تولیدکننده و مصرف کننده بتوانند همزمان یکدیگر را دنبال کنند، استفاده هر چه بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به مشکلات سوخت‌های فسیلی مانند قیمت، آلودگی محیط زیست و رو به اتمام بودن آن‌ها، وجود بارهای حساس و توجه هر چه بیشتر به حقوق مصرف کنندگان نمونه‌هایی از این مسائل می‌باشد. وجود ریزشبکه‌ها با توجه به ویژگی‌های خاص آن‌ها می‌تواند تا حدود زیادی این مشکلات را حل نمایند که موجب توجه هر چه بیشتر به آن‌ها شده است. ریزشبکه یک سیستم قدرت مقیاس کوچک است که این امر را محقق می‌کند.

برای استفاده هر چه بهتر و بیشتر از منافع ریزشبکه باید از روش‌های کنترلی و بهره‌برداری استفاده کرد. به منظور بهره‌برداری بهینه ریزشبکه راه‌کارهای مختلفی وجود دارد. از آن جمله می‌توان به کنترل میزان تولید منابع داخلی ریزشبکه، میزان مصرف بارهای داخلی ریزشبکه، خرید و فروش و تعامل با بازار بالادست، اشاره کرد.

یکی از کم هزینه‌ترین و در عین حال مفیدترین روش‌های بهره‌برداری بهینه ریزشبکه، بازآرایی می‌باشد. بازآرایی می‌تواند ریزشبکه را در کمینه‌سازی تلفات و در نتیجه آن کمینه‌سازی هزینه‌ها یاری رساند و با توجه به این موضوع که یکی از عمده‌ترین اهداف شکل‌گیری ریزشبکه‌ها و نزدیک‌سازی مسافت بین تولیدکننده و مصرف‌کننده همین کاهش تلفات می‌باشد، اهمیت و جایگاه بازآرایی بیش از پیش نمایان می‌گردد. علاوه بر موضوع کاهش تلفات، بازآرایی از طریق تغییر مسیر تغذیه، هزینه‌های ناشی از قطعی و قابلیت اطمینان که باید به بارهای حساس پرداخت شود را کاهش می‌دهد. بنابراین یکی از ابزارهای قدرتمند بهره‌برداری، بازآرایی می‌باشد.

ریزشبکه[1] نوعی از سیستم قدرت به هم پیوسته با تولید در مقیاس کوچک است که می‌تواند ترکیب‌های مختلفی از منابع تولید پراکنده را در برگیرد. ریزشبکه از منابع انرژی پراکنده تشکیل شده است.

[1] Microgrid

اتصال تولیدات پراکنده با مقیاس کوچک در ولتاژهای متوسط (MV[1]) و ولتاژ پایین (LV[2]) ممکن است بر عملکرد شبکه تأثیرگذار باشد. ریزشبکه‌ها از بهترین ترکیب فناوری کنترل و مدل‌سازی برای دستیابی به ظرفیت، کیفیت و قابلیت اطمینان استفاده می‌کنند[1].

اتصال منابع تولید پراکنده[3] به شبکه توزیع از طریق ریزشبکه اقتصادی‌تر و قابل اطمینان‌تر است، بنابراین ریز شبکه‌ها در آینده بیشتر و بیشتر به کار گرفته می‌شوند. اما اگر تولیدات پراکنده ابتدا در یک ریزشبکه جمع و سپس مجموعه به شبکه توزیع متصل شود، سود بیشتری دارد[2].

ریزشبکه‌ها از مهم ترین بخش‌های سیستم‌های قدرت آینده هستند که توانایی حل مشکلات پیچیده سیستم‌های بزرگ را دارا می‌باشند. وقتی که خطاهای بزرگ، بسیاری از سیستم های قدرت مقیاس بزرگ را مورد تهدید یا حمله قرار می‌دهد، ریزشبکه‌ها توجه بیشتری را به خود جلب می‌کنند. چون ریزشبکه می‌تواند به تنهایی کار کند و الکتریسیته پیوسته برای بارهای مهم را حتی در زمان فروپاشی[4] سیستم اصلی تأمین کند[3].

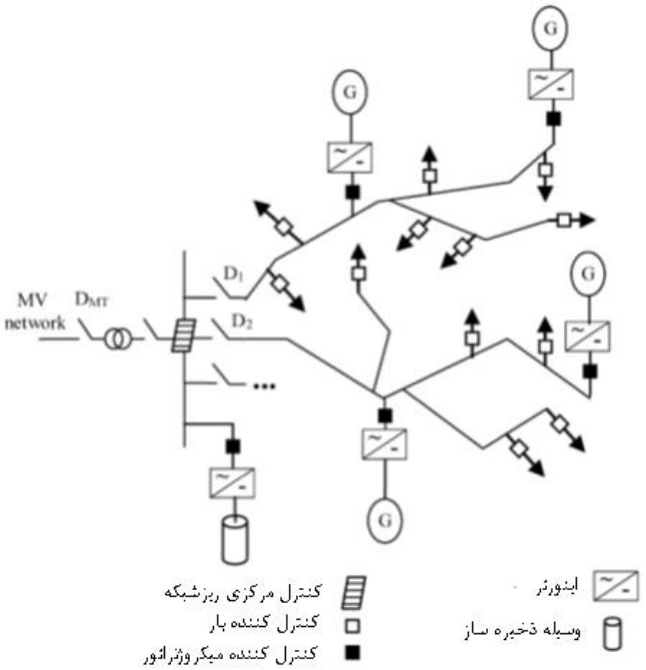
ریزشبکه یک الگوی جدید است که می‌تواند بازدهی انرژی را از طریق استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و گرما افزایش دهد. .همچنین چون از نظر موقعیت تولید توان در نزدیکی مشتریان صورت می‌گیرد، می-تواند تلفات انتقال را کاهش دهد. یک ریزشبکه می‌تواند به گروه تأمین کنندگان انرژی، متشکل از DGها و گروه متقاضیانِ مشتری تقسیم شود. اگر توان الکتریکی که منابع برای مشتریان تأمین می‌کنند کم باشد، می‌توان کمبود را از بازار برق جبران کرد[4].

در شرایط عادی ریزشبکه به شبکه اصلی متصل می‌شود و به عنوان یک زیرسیستم از سیستم توزیع کار می‌کند. اتصال به شبکه اصلی با هدف جا به جایی توان بین ریزشبکه و شبکه اصلی است و در صورت تولید ناکافی یا اضافی در هر سمت مبادله توان انجام می‌شود. وقتی که مشکلی در تأمین کننده به وجود آید، ریزشبکه از شبکه اصلی جدا می‌شود و مستقلاً کار می‌کند. این حالت (مود) بهره برداری، حالت جزیره‌ای نامیده می‌شود[5].

ریزشبکه می‌تواند در دو حالت متصل[5] یا اضطراری[6] کار کند. در حالت متصل، ریزشبکه به شبکه توزیع متصل است. ریزشبکه انرژی وارد یا صادر می‌کند یا سرویس خدمات جانبی را تأمین می‌کند، این کارها با

[1] Medium Voltage
[2] Low Voltage
[3] Distributed Generation
[4] blackout
[5] interconnected
[6] emergency

هماهنگی با مدیریت سیستم توزیع انجام می‌شود. ریزشبکه مانند یک عنصر قابل کنترل در شبکه توزیع است. حالت(مود) اضطراری وقتی انجام می‌شود که قطع برق در شبکه بالادست اتفاق بیفتد (یا وقتی که مشکلات کیفیت توان وجود داشته باشد). ساختار یک ریزشبکه نمونه در شکل ۱-۱، نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: ریزشبکه نمونه

در این شرایط ریزشبکه می‌تواند به صورت جزیره‌ای از شبکه توزیع با استفاده از منابع محلی بهره برداری شود. در این حالت مدیریت ریزشبکه از کنترل توان به کنترل فرکانس و در صورت لزوم به جداکردن بعضی از بارها می‌پردازد. این مشخصاتِ ریزشبکه با استفاده از تجهیزات کنترل و سیستم مخابراتی مناسب به دست می‌آید. تجهیزات کنترل ریزشبکه شامل کنترل مرکزی ریزشبکه (MGCC[1])، کنترل کننده‌های میکروژنراتورها(MC[2]) و کنترل کننده‌های بار (LC[3]) هستند.

تجهیزات کنترل محلی توان اکتیو و راکتیو، تولید میکروژنراتورها و ذخیره سازها را کنترل و تنظیم می‌کنند. تجهیزات کنترل کننده بار در صورت لزوم با جداکردن بارها و به صورت کلی یا جزئی عمل کنترل را انجام می‌دهند. MGCC، ریزشبکه را با تعیین نقاط کار برای MC و LC مدیریت می‌کند. این کار برای دستیابی به عملکرد مناسب فنی و اقتصادی صورت می‌پذیرد. به این منظور باید بین MGCC، MC و LC یک سیستم مخابراتی موجود باشد[6].

[1] Microgrid Central Controller
[2] Microgenerator Control
[3] Load Control

علل استفاده از ریزشبکه را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

۱- استفاده در مکان هایی که امکان برق رسانی وجود ندارد یا برق رسانی پرهزینه است.

۲- صرفه جویی در هزینه ها: به این صورت که در زمان‌هایی که برق ارزان است آن را خریداری و در ذخیره سازها ذخیره کند و در زمان‌های گرانی آن را به شبکه به فروش برساند.

۳- افزایش قابلیت اطمینان: هم می‌تواند بـه افـزایش قابلیـت اطمینـان مصـرف کننـدگان داخـل ریزشبکه و هم به افزایش قابلیت اطمینان شبکه بالادست (توزیع) بیانجامد. مثلاً در صورت نیازِ شبکه توزیع در زمان پیک بار می‌تواند به آن کمک کند.

۴- دستیابی به ظرفیت بالا: ریزشبکه می‌تواند برای خرده سرمایه گذاران جهت توسعه تولید، ایجاد انگیزه کند و به این ترتیب ظرفیت شبکه توزیع افزایش می‌یابد.

۵- افزایش کیفیت توان: برای بعضی از کاربردهایی که نیاز به کیفیت توان بالا دارند می‌توان از ریزشبکه استفاده کرد و پارامترهای مورد نظر را به صورت محلی کنترل نمود.

۶- کاهش تلفات: چون تلفات اصلی شبکه مربوط به انتقال است می‌توان با استفاده از تولید پراکنده و نزدیک کردن تولید به مصرف کنندگان این تلفات را کاهش داد[4,7,8,9,10].

همانطور که بیان شد بازآرایی یک روش کم‌هزینه بهره‌برداری می‌باشد. بازآرایی می‌تواند در دو حالت بهره‌برداری عادی یا در حالت اضطراری انجام پذیرد.

بازآرایی می‌تواند یک نوع کنترل اضطراری شامل تغییرات توپولوژی، قطع بار[1] یا تغذیه و سایر اقدامات کنترلی مانند تغییر مسیر تغذیه بارها باشد. انعطاف‌پذیری ریزشبکه با استفاده از عمل بازآرایی امکان بهره‌برداری از آن را به صورت خودمختار را فراهم می‌کند. تکنولوژی وصل کردن و استفاده[2] و مدیریت فعال بار در سمت تقاضا (ADSM[3])، اضافه کردن تولید و قطع بار را ممکن می کند[3].

اهداف بازآرایی شبکه در سیستم توزیع سنتی کاهش تلفات توان [10,11]، تعادل توان بین تولید و مصرف، افزایش کیفیت توان، ایزوله کردن تجهیزاتی که خطا در نزدیکی آن‌ها رخ داده و بازیابی سریع سیستم در شرایط اضطراری [12,13,14] است. همانطور که می‌دانیم، سیستم‌های توزیع سنتی به شیوه شعاعی ساخته و بهره برداری می‌شدند. در چنین شبکه هایی هر زمان فقط یک منبع تغذیه وجود داشت و جریان توان در هر فیدر یک طرفه بود.

[1] Load shedding
[2] plug & play
[3] Active Demand Side Managment

ریزشبکه می‌تواند در زمان‌های مختلف به عنوان منبع توان یا بار مصرف کننده باشد، بنابراین جریان توان[1] در بعضی از فیدرها، بسته به شرایط می‌تواند دو طرفه باشد.
با توجه به موارد ذکر شده، آشکار است که بازآرایی شبکه توزیع سنتی و شبکه توزیع شامل منابع تولید پراکنده تا حدودی متفاوت هستند. همانطور که می‌دانیم اگر تجهیزات تولید پراکنده مستقیماً به شبکه توزیع متصل شوند، در صورت وقوع خطا براساس استاندارد IEEE_1547 (IEEE,2003) این تجهیزات باید به سرعت از مدار خارج شوند. این کار برای محافظت از تجهیزات و انسان‌هاست[2].

از دیدگاه ریاضی، مسئله بازآرایی یک مسئله بهینه سازی غیرخطی مقید آمیخته با متغییرهای بولی و قابل کنترل پیوسته است که اغلب برای حل کردن با روشهای معمولی سنتی مانند روش نیوتن نقطه داخلی (درون یابی) بسیار پیچیده است. بعضی از روش های بهینه سازی مدرن (مانند شبکه عصبی، شبیه سازی ذوب فلزات[2] [15] و الگوریتم ژنتیک[3] [16]) می توانند مسئله را حل کنند اما برای کاربرد بلادرنگ[4] مناسب نیستند.
به جز ساختار شعاعی، شبکه دو حلقه ای[5] یا مش بندی شده[6] برای ریزشبکه توصیه شده است که مشتریان را به خوبی تغذیه می‌کند و قابلیت اطمینان مناسب را تأمین می‌کنند. به خصوص در مناطق نظامی، کشتی‌ها[7] و فعالیت‌های مهم از این سیستم‌ها استفاده می‌شود. در چنین حالت‌هایی، تغییرات ممکن توپولوژی پیچیده‌تر هستند[3].

۱-۲- ضرورت و فرضیات پایان‌نامه

بازآرایی می‌تواند در دو حالت بهره‌برداری عادی و یا خارج شدن خطوط در اثر بروز خطا انجام شود. در این پایان‌نامه بازآرایی و مدیریت یک ریزشبکه در حالت بهره‌برداری عادی به منظور بیشینه‌سازی سود انجام می‌گیرد. سپس با در نظر گرفتن احتمالاتی وقوع خطا و میانگین زمان لازم برای تعمیر خطوط (ممکن است خطی برای چند ساعت در حال تعمیر باشد)، نیز بازآرایی و مدیریت ریزشبکه با هدف حفظ پیوستگی بارهای حساس از طریق تغییر مسیر تغذیه انجام می‌شود. با توجه به این موضوع که هدف اصلی

[1] Power Flow
[2] simulate anneal
[3] Genetic Algorithm
[4] Real_Time
[5] double_loop
[6] meshed
[7] shipboards

از ایجاد ریزشبکه‌ها حفظ پیوستگی تغذیه است، بازآرایی به عنوان یکی از ضروری ترین و کم هزینه‌ترین روش‌ها به منظور تغییر مسیر تغذیه بارهای حساس بعد از وقوع خطا نمایان می‌شود. بازآرایی ریزشبکه‌ها یکی از مهم‌ترین روش‌هایی است که با استفاده از باز کردن و بستن سوئیچ‌ها می‌تواند ما را در دستیابی به هدف‌هایی مانند کاهش تلفات، افزایش کیفیت توان، افزایش قابلیت اطمینان و صرفه جویی در هزینه‌ها یاری دهد.

در این پایان‌نامه فرض بر آن است که ریزشبکه مورد نظر نصب شده است و با توجه به تغییرات ساعتی توان مورد تقاضای بارها، همچنین تغییرات ساعتی توان تولیدی واحد بادی و قیمت برق شبکه، مدیر ریزشبکه به منظور بیشینه‌سازی سود خود می‌تواند میزان تولید میکروتوربین‌ها و میزان شارژ و دشارژ باتری‌ها و نحوه باز و بسته بودن کلیدها را تعیین کند. در انجام این پایان‌نامه فرض می‌شود در صورت خرابی خطوط و عدم توانایی مدیر ریزشبکه در یافتن مسیر جایگزین، مقداری جریمه به مشترکین پرداخته می‌شود. قید قابلیت اطمینان با توجه به هزینه انرژی فروخته نشده در تابع هدف لحاظ می‌شود. در صورت وقوع خطا در شاخه (فیدر) متصل کننده به شبکه بالادست، ریزشبکه به حالت جزیره‌ای درآمده و در صورت کمبود تولید نسبت به مصرف یا عدم رعایت قیود بهره‌برداری مدیر ریزشبکه، به قطع بار می‌پردازد.

با توجه به این‌که قیمت خرید و فروش در ساعات مختلف از شبکه بالادست متفاوت است، برنامه مدیریتی خرید و فروش انرژی ریزشبکه از بالادست، بر اساس ساعت و مقدار توان تولیدی و توان مصرفی ریزشبکه تعیین می‌شود. به این ترتیب که دو حالت اتصال به شبکه بالادست و حالت جزیره‌ای شدن ریزشبکه وجود دارد. در این پایان‌نامه فرض می‌شود که در هر ساعت که مدیر ریزشبکه براساس برنامه مدیریتی بیشینه‌سازی سود بخواهد، با توجه به محدودیت مبادله توان با شبکه بالادست، می‌تواند توان دلخواه را به شبکه فروخته یا از آن خریداری کند و شبکه بالادست به درخواست ریزشبکه پاسخ مثبت می‌دهد.

نمونه‌ای از برنامه مدیریتی ریزشبکه (بدون استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی تکاملی) می‌تواند به صورت زیر در نظر گرفته شود (البته در این پایان‌نامه از الگوریتم تکاملی اجتماع ذرات استفاده شده است):

الف- در صورتی‌که تولید منابع بادی داخل ریزشبکه با مصرف بارهای داخل آن برابر باشد، حالت‌های زیر پیش می‌آید:

۱- اگر قیمت برق شبکه ارزان‌تر از قیمت برق تولیدی توسط میکروتوربین باشد و باتری ظرفیت شارژ داشته باشد، به اندازه شارژ کامل باتری، برق از شبکه بالادست خریداری نماییم.

۲- اگر قیمت برق شبکه گرانتر از قیمت برق تولیدی توسط میکروتوربین باشد، ۹۰٪ از شارژ باتری و توان تمام ظرفیت میکروتوربین‌ها به شبکه فروخته می‌شود. ۱۰٪ شارژ باتری به عنوان رزرو در نظر گرفته می‌شود.

ب- در صورتی‌که تولید منابع بادی داخل ریزشبکه کمتر از مصرف بارهای داخل آن باشد، حالت‌های زیر پیش می‌آید:

۱- اگر قیمت برق شبکه ارزان‌تر از قیمت تولیدی توسط میکروتوربین باشد، از شبکه بالادست توان خریداری نموده، بارهای داخل ریزشبکه را توسط آن تغذیه کرده و باتری (در صورت داشتن ظرفیت) شارژ می‌شود.

۲- اگر قیمت برق شبکه گرانتر از قیمت برق تولیدی توسط میکروتوربین باشد، سه حالت پیش می‌آید:

۲-۱- مجموع توان باتری و میکروتوربین بیشتر از تفاضل توان تولیدی واحد بادی و توان مورد نیاز بارهای مصرفی داخل ریزشبکه باشد، در این صورت مقدار اضافی توان به شبکه بالادست فروخته می‌شود.

۲-۲- مجموع توان باتری و میکروتوربین برابر با تفاضل توان تولیدی واحد بادی و توان مورد نیاز بارهای مصرفی داخل ریزشبکه باشد، در این صورت معامله با لادست منتفی می‌باشد.

۲-۳- مجموع توان باتری و میکروتوربین کمتر از تفاضل توان تولیدی واحد بادی و توان مورد نیاز بارهای مصرفی داخل ریزشبکه باشد، در این صورت ناچار به خرید مقدار مورد نیاز توان برای بارها هستیم.

ج- در صورتی‌که تولید منابع بادی داخل ریزشبکه بیشتر از مصرف بارهای داخل آن باشد، حالت‌های زیر پیش می‌آید:

۱- اگر قیمت برق شبکه ارزان‌تر از قیمت برق تولیدی توسط میکروتوربین باشد، ابتدا باتری‌ها در صورت داشتن ظرفیت شارژ می‌شوند، سپس توان تولیدی مازاد به شبکه بالادست فروخته می‌شود.

۲- اگر قیمت برق شبکه گران‌تر از قیمت برق تولیدی توسط میکروتوربین باشد، مجموع مازاد توان تولیدی بادی بعلاوه توان تولیدی توسط میکروتوربین بعلاوه توان ذخیره شده در باتری (در صورت وجود) به شبکه بالادست فروخته می‌شود.

۱-۳- اهداف و مراحل انجام پایان‌نامه

این پایان‌نامه به منظور ارائه روشی برای بازآرایی بهینه ریزشبکه‌ها با هدف کاهش هزینه تلفات انجام شده است. عدم قطعیت واحد بادی و تقاضای بار در حالت بهره‌برداری عادی و قابلیت اطمینان لازم برای بارها در صورت رخداد خطا به صورت هزینه در نظر گرفته شده‌اند. تولید منبع بادی و بار در حالت بهره-برداری عادی و خطی که خطا در آن رخ می‌دهد و مدت زمان لازم برای تعمیر در حالت رخداد خطا، به صورت غیرقطعی مدل می‌شوند.

ابتدا در در فصل اول ریزشبکه معرفی، دلایل و هدف استفاده از آن‌ها بیان شد. بازآرایی به عنوان یک روش که می‌تواند نقش مؤثری در کنترل ریزشبکه‌ها داشته باشد، شرح داده شد.

در فصل دوم انواع مطالعات انجام شده در زمینه بازآرایی مرور شده است. این مطالعات انواع بازآرایی-هایِ سیستم قدرت عرشه کشتی، بازآرایی‌های شبکه توزیع که در سالهای اخیر انجام شده است، بازآرایی شبکه‌های توزیع فعال شامل تولیدات پراکنده، بازآرایی شبکه‌های توزیع شامل ریزشبکه‌ها و بازآرایی ریزشبکه‌ها را شامل می‌شود. در انتهای فصل دوم نوآوری و تفاوت این پایان‌نامه با مطالعات و کارهای انجام شده در گذشته بیان می‌شود. در فصل سوم مدل ریزشبکه مورد مطالعه وعناصر آن معرفی می‌شود. در فصل چهارم شبیه‌سازی انجام شده و نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرند. در انتها به جمع‌بندی و نتیجه-گیری نتایج و همچنین ارائه پیشنهادات جهت ادامه این پروژه پرداخته می‌شود.